

УДК 621.74

## Разработка технологий литья под давлением цинковых сплавов в программной среде CAD/CAE/CAM

О. М. Огородникова, Н. В. Кокушкин

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

### Краткий обзор и программное обеспечение

**Цинковые сплавы.** Сплавы на основе цинка с добавками алюминия, меди и магния обладают хорошей жидкотекучестью [1] и применяются для литья под давлением [2] деталей небольших размеров со сложной пространственной геометрией и тонкими стенками толщиной менее 1 мм. Цинковые сплавы традиционно играют ведущую роль в производстве декоративных элементов интерьера и фурнитуры, но все чаще используются в машиностроении для изготовления умеренно нагруженных деталей конструкций. Например, в современных автомобилях из цинковых сплавов изготовлены корпуса карбюраторов, стеклоочистителей и зеркал, детали масляного насоса и гидравлического тормоза, кронштейны двигателя и багажника, решетки радиаторов, детали отделки салона и кузова, дверные ручки, замки ремней безопасности; номенклатура литых цинковых деталей постоянно расширяется. По сравнению с другими конструкционными материалами цинковые сплавы обладают уникальным комплексом эксплуатационных и технологических преимуществ [3]: благоприятные для высокопроизводительных технологий литейные свойства, что обеспечивает низкую себестоимость литых деталей; высокая коррозионная и абразивная стойкость, низкий коэффициент трения, выигрышное соотношение прочности и веса, возможность нанесения декоративных покрытий, повышенная демпфирующая и экранирующая способность. На сегодняшний день уверенный рост производства и потребления цинка наблюдается в Китае [4], включая индустрию литых цинковых деталей для автомобилей. Активно изучается возможность повысить эксплуатационные качества конструкционных цинковых сплавов за счет легирования [5], наноструктурирования [6] и совершенствования технологий литья [7]. Вместе с тем, просмотрев более 13 миллионов публикаций с помощью поисковой системы научной электронной библиотеки, расположенной на сайте <http://elibrary.ru>, авторам удалось обнаружить только одну статью за последний год на русском языке по проблемам литья под давлением цинковых сплавов [7], размещенную специализированной немецкой компанией в рекламных целях.

**Литье под давлением.** Главными преимуществами технологий литья под давлением являются высокая производительность, отличное качество поверхности, точные размеры литого изделия и минимальная потребность в его механической обработке. Цинковые сплавы не взаимодействуют с металлом пресс-формы и деталей камеры прессования, что позволяет применять высокопроизводительные автоматические машины для литья под давлением с горячей камерой прессования. Низкая температура плавления (380-390 °С) этих сплавов и возможность литья при невысоких давлениях прессования обеспечивают высокую стойкость пресс-форм, которые выдерживают в среднем 250 тысяч запрессовок. Все перечисленные условия гарантируют низкую себестоимость литых заготовок из цинковых сплавов. Дополнительный экономический эффект можно получить за счет сведения к минимуму облоя и механообработки заготовок, что обеспечивается, в частности, рациональным конструированием пресс-форм.

Стремление снизить вес деталей без потери прочности и отказаться от механической обработки литых заготовок приводит к сложной пространственной геометрии цинковых отливок и создает дополнительные трудности для конструктора пресс-форм. Согласованно решить комплексную задачу конструирования, обеспечения прочности литых изде-

лий и технологичности литейной формы можно только с применением современных программных сред CAD/CAE/CAM.

*Сквозные технологии проектирования и подготовки производства.* Развитие и адаптация в литейном производстве интегрированных систем автоматизированного проектирования (CAD), инженерных расчетов (CAE), подготовки производственно-технологических процессов (CAM) и управления проектом (PDM) предоставляет новые возможности для изготовления литых изделий и разработки литейных технологий гарантированного качества. При этом следует учитывать специфику литейного производства, которая заключается в многообразии контролируемых факторов, взаимно влияющих друг на друга. Анализ литературных источников показывает, что на российских заводах крайне мало примеров оптимальной инсталляции программного обеспечения с полной и эффективной его загрузкой; практически отсутствуют сообщения о согласованной эксплуатации распределенных инсталляций на базе единого информационного пространства.

Эффективная эксплуатация сквозных систем проектирования в литейном производстве опирается на обобщенную информационную базу жизненного цикла изделия (PLM), в которой используется единая цифровая модель, включающая литую деталь, отливку с литниково-питающей системой, литейную форму и технологическую оснастку. В данной работе для создания цифровой модели использованы модули трехмерного моделирования CAD в рамках системы автоматизированного проектирования (САПР) высокого уровня Siemens PLM Software (NX). Применение NX позволяет создать объемную модель пресс-формы, параметрически связанную со всем объемными моделями проекта; проверить сборку на отсутствие пересечений и зазоров, определить вес и размеры конструктивных элементов по всем позициям цифровой модели, подготовить конструкторскую и технологическую документацию. Выбор программы NX авторами определяется необходимостью организации совместных работ университета с крупными предприятиями, где в полной мере может быть задействован функционал систем высокого уровня (CATIA, Pro/ENGINEER, NX). Так, опубликованы результаты разумного использования САПР на известных заводах для производства стальных отливок [8, 9].

Правильный выбор конструкции и технологических параметров необходимо подтвердить расчетами в программе для анализа литейных процессов CAE. В данной работе использована российская программа LVMFlow, которая уверенно входит в повседневную практику рядового технолога-литейщика [10, 11] и позволяет моделировать процессы заполнения формы расплавленным металлом под давлением с последующим его затвердеванием. На предприятиях используются также программы Poligon [12], ProCast [13], Magma [8] и другие [14, 15]. По мнению авторов, нет смысла метаться между этими программами, поскольку все они одинаково надежно решают тепловую задачу и постоянно обновляются, участвуя в конкурентном развитии. При выборе программного обеспечения ориентироваться, в первую очередь, следует на уровень и стоимость локальной технической поддержки. Выбор программы LVMFlow авторами определяется профессионализмом и работоспособностью ее разработчиков.

Наиболее дорогостоящая часть подготовки производства литых деталей – изготовление пресс-форм и литейной оснастки на станках с числовым программным управлением (ЧПУ). В условиях мелкой серии стоимость оснастки оказывает заметное влияние на конечную цену отливки. И что не менее важно, качество изготовления литейной оснастки определяет зачастую и качество литых деталей, а значит функциональность изделия в сборке. Верно сконструированная и тщательно выполненная оснастка обеспечивает высокий класс точности отливок, снижает литейный брак, повышает производительность труда, сокращает затраты на механическую обработку заготовок. Пресс-формы для литья под давлением цинковых сплавов представляют собой сложный и точный инструмент. В дан-



ной работе обработка формообразующих поверхностей пресс-формы на станках с ЧПУ подготовлена в модулях САМ системы NX. Выполнение различных этапов работы с использованием единой цифровой модели в обобщенной среде CAD/CAM обеспечивает минимум ошибок и затраченного времени.

### Постановка задачи

Цель работы – разработать методы сквозного проектирования и подготовки производства литых цинковых деталей в программной среде CAD/CAE/CAM. В качестве объекта выбрана оконная фурнитура, а именно – изделие «ответная планка» из номенклатуры Полевского металлофурнитурного завода. Исходными данными являются чертеж изделия и свойства материала. Материал изделия – цинковый сплав ЦАМ4-1, химический состав которого по ГОСТ 19424-97 приведен в таблице в сравнении с зарубежным аналогом ZAMAK 5. В рамках сквозного проектирования требуется сконструировать пресс-форму под машину для литья под давлением с горячей камерой прессования, провести компьютерное моделирование процессов заполнения формы и затвердевания металла, компьютерными методами проверить отливку на наличие дефектов, разработать технологию изготовления пресс-формы и управляющую программу для обработки ее внутренних поверхностей на станке с ЧПУ.

Таблица. Химический состав цинковых сплавов (массовая доля элементов)

сплав	Zn	Al	Cu	Mg	Pb	Fe	Sn	Cd	Si
ЦАМ4-1	основа	3,5-4,3	0,7-1,2	0,03-0,06	0,01	0,05	0,002	0,005	0,015
ZAMAK 5	основа	3,8-4,2	0,7-1,1	0,035-0,06	0,003	0,02	0,001	0,003	0,02

### CAD – объемное конструирование

Согласно общей концепции объемного конструирования литейной оснастки, на начальном этапе CAD создаются 3D-модели литой детали и отливки с литниково-питающей системой, связанные общими построениями. Затем куст отливок с литниково-питающей системой и средствами направленного охлаждения подвергается инженерному анализу CAE. В случае положительных результатов анализа на заключительном этапе CAD с использованием ранее выполненных построений проводится объемное конструирование необходимой технологической оснастки, в том числе для литья под давлением – пресс-формы. Объемное конструирование пресс-формы осуществляется последовательно и проходит через следующие шаги.

*Шаг 1. Построить объемную модель литой детали.* Объемное конструирование начинается с построения 3D-модели литой детали (рис. 1) по чертежу заказчика. Основные принципы конструирования литой детали вытекают из факторов, определяющих специфику, преимущества и недостатки технологического процесса литья под давлением. К таким факторам относятся 1) высокая размерная точность и необходимость изготавливать дорогостоящую оснастку; 2) высокая производительность и использование сложного автоматизированного оборудования; 3) ограничение размеров и массы отливок небольшим объемом рабочей зоны; а также 4) повышенное содержание газов в расплаве, поступающем в форму с высокой скоростью под давлением, – все это требует особых усилий для создания оптимальных, экономически целесообразных и технически реализуемых конструкций.

*Шаг 2. Выбрать положение отливки в форме.* Исходя из геометрии литой детали, выбирается ее пространственная ориентация в технологическом процессе и оптимальная плоскость разъема будущей пресс-формы. На этом этапе планируются основные принципы подвода металла и охлаждения формы, анализируется конструктивная возможность



формирования отверстий в отливке с помощью подвижных или неподвижных стержней. Для построенной в данной работе детали положительное направление оси Z на рис. 1 показывает ту часть отливки, которая будет расположена в неподвижной полуформе. Соответственно, отверстия в детали будут оформлены неподвижными стержнями и будут расположены в неподвижной полуформе.

*Шаг 3. Добавить литейные уклоны.* Для безпроблемного удаления отливки на ее поверхностях, перпендикулярных к плоскости разъема формы, предусматриваются литейные уклоны. Особенно они важны на внутренних поверхностях, оформляемых стержнями. С учетом выбранного положения литой детали в пресс-форме ее 3D-модель превращается в модель отливки (рис. 2) автоматическим добавлением уклонов на указанные поверхности, что легко достигается обращением к соответствующим функциям интерфейса NX. Величина литейных уклонов задается технологом в зависимости от ширины и высоты стенок. Правильность построений можно затем проверить в NX, вызвав функцию визуального контроля, которая в разные цвета окрашивает зоны открытые, закрытые и с заданной точностью удовлетворяющие направлению раскрытия формы.

*Шаг 4. Построить литниковую систему.* Литниковая система представляет собой совокупность каналов, по которым жидкий металл поступает из камеры прессования в оформляющую полость пресс-формы. Литниковая система в данной работе (рис. 3) включает входной канал в виде литниковой втулки и литниковые каналы в полуформах. Литниковая втулка выходит на внешнюю поверхность пресс-формы через неподвижный фланец и прилегает к соплу литейной машины, через которое и происходит впрыск расплава. Конструкция центральной втулки дополнена элементом «ласточкин хвост» для удержания литникового канала в подвижной части формы при выемке его из конуса литниковой втулки в конце цикла; после раскрытия формы литник выталкивается толкателем из полости втулки.

При выборе литниковой системы необходимо стремиться к обеспечению направленного заполнения, которое зависит не только от места подвода, но и от отношения толщины питателя к толщине стенки отливки в месте подвода металла. Если это отношение превышает величину 0.5, то после удара струи о преграду начинается заполнение полости формы сплошным или дисперсно-турбулентным потоком, который движется в направлении, обратном направлению движения металла в питателе, ухудшая качество отливки. Если относительная толщина питателя меньше критической величины, при заполнении формируется направленный поток. В случае подведения металла в утолщенную часть неравностенной отливки после удара струи может образоваться поток, минуя тонкостенную полость формы. Как следствие, такая проблемная полость будет заполняться в последнюю очередь и более холодным металлом, при этом появятся дефекты типа неслитин. Кромки питателя и подводящего канала, выходящие в плоскость разъема формы, не должны иметь закруглений. Радиусы остальных углов должны быть не менее 1 мм.

*Шаг 5. Построить вентиляционную систему.* Неполное вытеснение газов, образующихся при сгорании смазочных материалов, и воздуха из полости пресс-формы в процессе ее заполнения расплавом является одной из основных причин образования раковин и пористости в отливках. Вентиляционная система пресс-формы представляет собой совокупность каналов и резервуаров, через которые воздух и газы вытесняются из оформляющей полости поступающим металлом. Вентиляционная система в данной работе (рис. 3) состоит из промывников и вентиляционных каналов.

Чем сложнее конфигурация отливки, тем труднее создать направленную систему вентиляции формы. В первую очередь, литниковая система и правильное расположение отливки в форме должны обеспечивать постепенное вытеснение воздуха и газов к вентиляционным каналам. При этом встречное движение сплава и воздуха не допускается. В





противном случае воздух и газы, обладающие значительно меньшей инерцией, чем металл, не успевают выйти через каналы. Расположение вентиляционных каналов зависит от гидродинамики потоков. При заполнении сплошным потоком их располагают в местах, наиболее удаленных от питателя, или в местах образования гидравлического подпора. При заполнении дисперсными или дисперсно-турбулентными потоками желательно иметь вентиляционные каналы на всех участках заполнения. Вентиляционные каналы чаще всего выполняют в плоскости разреза формы; они имеют вид прямоугольных проточек. Для цинковых сплавов глубина вентиляционных каналов варьируется в пределах от 0.08 до 0.12 мм. В данной работе объем детали «ответная планка»:  $V_{\text{отл.}} = 3118 \text{ мм}^3$ . Объем промывника:  $V_{\text{пр.}} = 0,75 * V_{\text{отл.}} = 2338 \text{ мм}^3$ . Толщина соединительного канала между оформляющей полостью и промывником вычисляется через толщину стенки отливки и равна  $0.4 \delta_{\text{отл.}} = 0.8 \text{ мм}$ .

*Шаг 6 – заключительный шаг после компьютерного моделирования литейных процессов. Построить пресс-форму.* Основные детали пресс-формы в зависимости от их назначения подразделяют на три группы: формообразующие, конструктивные и входящие в механизмы пресс-формы. Кроме основных деталей пресс-форма имеет ряд вспомогательных – стандартных крепежных деталей. Конструкция пресс-формы в сборе, построенной в данной работе, представлена на рис. 4.

*Формообразующие детали пресс-формы.* Формообразующие детали являются наиболее ответственными, так как они соприкасаются с расплавленным металлом, участвуют в оформлении поверхностей отливок и подвергаются термическому воздействию и механическим нагрузкам. Эти детали изготавливают из жаростойких сталей, обладающих высокими механическими свойствами. Для повышения износостойкости и уменьшения химического взаимодействия с заливаемым расплавом рабочие поверхности формообразующих деталей подвергаются упрочняющей обработке – цианированию, азотированию и другими методами. Чтобы предохранить формообразующие детали от прилипания жидкого металла, их поверхность подвергают воронению. Образующаяся при этом оксидная пленка служит прослойкой между деталью и сплавом. В целях уменьшения сопротивления выталкиванию отливок из пресс-формы и повышения качества поверхности отливок рекомендуется механически обрабатывать рабочие поверхности формообразующих деталей до шероховатости 0,32 мкм.

*Вкладыши.* Вкладышами называют детали пресс-форм с полостью, в которой оформляются наружные поверхности отливок. Построенная в данной работе объемная модель вкладыша представлена на рис. 5. Габаритные размеры вкладышей устанавливают исходя из правила, что расстояние от рабочей полости до края вкладыша должно быть не менее 20 мм. В мелкосерийном производстве, когда пресс-формы эксплуатируются периодически, допускается уменьшить это расстояние до 10 мм. При определении высоты вкладышей учитывают необходимость устойчивого положения вставок и стержней. С этой целью к размеру глубины оформляющей полости добавляют не менее 15 мм для посадки стержней или вставок. При конструировании вкладышей рекомендуется соблюдать принцип равностенных сечений. Локальные утолщения затрудняют термообработку и могут привести к короблению, появлению закалочных трещин и излишних внутренних напряжений, снижающих стойкость вкладышей. Вкладыши крепят в обоймах пресс-форм различными способами. Врезные вкладыши крепят винтами. Недостатком этого способа является то, что по мере износа резьбы вкладыш может разбалтываться в гнезде. Сквозные вкладыши закрепляют в обоймах с помощью опорного буртика, высота которого зависит от усилия выталкивания отливки. Такой способ крепления надежнее и проще.

*Стержни.* Стержни могут быть неподвижными, подвижными, резьбовыми. Неподвижные стержни устанавливают в пресс-форме перпендикулярно плоскости разреза. Для



облегчения выемки отливок из формы стержни имеют конусность или уклон. Конусность стержней, установленных в неподвижной полуформе, должна быть больше конусности подвижной полуформы, чтобы при раскрытии пресс-формы отливка осталась на стержнях подвижной части. Для предотвращения коробления и поломки отливок при их удалении около стержней в подвижной полуформе располагают дополнительные выталкиватели. Неподвижные стержни крепят в пресс-форме различными способами. Наиболее распространен способ крепления стержней буртиком, опирающимся на подкладную плиту. Высота посадочной части стержня зависит от размера его оформляющей части. При наличии врезных вкладышей стержни опираются на дно обоймы.

Неподвижные и подвижные стержни имеют посадочную, направляющую и оформляющую части. Посадочная часть стержня служит для его закрепления в пресс-форме. Для неподвижного стержня ее выполняют с точностью по седьмому качеству, для подвижного – по скользящей посадке. Посадочную часть стержня чаще всего делают цилиндрической. Направляющая часть служит для фиксации стержня в оформляющей полости. Для литья цинковых сплавов ее выполняют по второму классу точности по широкоходовой посадке. Направляющая часть стержня должна быть длиннее его оформляющей части.

*Литниковые втулки и рассекатели.* Литниковые втулки предназначены для сопряжения пресс-формы с камерой прессования литейной машины, рассекатели – для направления струи жидкого металла, поступающего через литниковые втулки, в каналы литниковой системы и далее в оформляющую полость. Литниковые втулки и рассекатели в большей степени подвержены динамическому, химическому и термическому воздействию жидкого металла, поэтому их всегда делают сменными.

*Конструктивные детали пресс-формы.* Конструктивные детали служат для установки формообразующих деталей в подвижной и неподвижной полуформах, для обеспечения их точного взаимного расположения и направленного движения, а также для крепления пресс-формы к машине. Конструктивные детали должны быть достаточно прочными, чтобы не деформироваться под действием усилий, передаваемых от формообразующих деталей при возникновении гидродинамического давления в процессе заполнения пресс-формы и статического давления в процессе подпрессовки.

### **САЕ – компьютерное моделирование литейных процессов**

Предварительная проверка технологичности проекта и ожидаемого качества литого металла основана на компьютерном моделировании литейных процессов заполнения формы расплавом и его затвердевания при направленном охлаждении. Компьютерному моделированию подвергают куст отливок с литниково-вентиляционной системой, конфигурацию которой изменяют и вновь проверяют до получения приемлемого уровня дефектности анализируемых отливок. Наилучший вариант геометрии используют в дальнейшем для оформления полости при объемном конструировании пресс-формы. В случае технологий литья под давлением цинковых сплавов важными факторами, определяющими формирование отливки, являются давление в камере прессования и пресс-форме, скорость впуска жидкого металла в форму, геометрия и параметры литниково-вентиляционной системы, температура заливаемого металла, температура прогрева формы, интенсивность охлаждения, режим смазывания оформляющей поверхности формы, теплофизические свойства сплавов и материалов. Все перечисленные параметры можно изменять в настройках компьютерной программы, подбирая оптимальные значения. Достоверность компьютерных расчетов зависит от точности исходных данных, прежде всего – теплофизических свойств [16], и адекватности используемых математических моделей.



*Затвердевание.* Обязательные для компьютерных расчетов свойства литейного сплава и других задействованных материалов являются коэффициентами решаемого всеми литейными программами уравнения теплопроводности:  $\rho C \frac{\partial T}{\partial t} + K \Delta T + Q = 0$ ,

которое при переходе к численному решению на сетке можно записать в матричном виде:  $\rho(T)[C(T)]\{\dot{T}\} + [K(T)]\{T\} = \{Q(t,T)\}$ , где  $t$  – время,  $\{T\}$  – температурное поле,  $\{\dot{T}\}$  – скорость изменения температуры во времени,  $\rho(T)$  – плотность материала,  $[C(T)]$  – матрица удельной теплоемкости,  $[K(T)]$  – матрица теплопроводности,  $\{Q(t,T)\}$  – реализация скрытой теплоты при охлаждении металла в температурном интервале от ликвидуса до солидуса. Коэффициентами этого уравнения являются плотность, теплоемкость, теплопроводность и теплота плавления, они задаются в виде температурных зависимостей. В данной работе необходимые для расчетов свойства сплава ЦАМ4-1 скомпилированы из различных литературных источников.

*Заполнение.* В данной работе было проведено моделирование заполнения формы для двух вариантов литниково-вентиляционной системы (рис. 6). Для первого варианта в результате моделирования был выявлен существенный недостаток литниковой системы с одним центральным питателем и шлаковиком, где металл сначала заполняет вентиляционную систему (рис. 6 а). Такая последовательность заполнения приведет к появлению поверхностных дефектов типа раковин и пор, поскольку вентиляционные каналы заполнены металлом, газы не смогут выйти из формообразующей полости и будут вытеснены металлом на поверхность отливки. Заполнение тонкостенных частей отливки производится в последнюю очередь более холодным металлом, поэтому появятся поверхностные дефекты типа неслитин. Следует также обратить внимание на неравномерное охлаждение формы, что является следствием неверно выбранного места подвода. Тонкие стенки кристаллизуются значительно быстрее массивной части отливки, что затрудняет подпрессовку и формирование плотного металла равномерно по всей отливке. Во втором варианте введены конструктивные изменения, которые корректируют направление течения расплава, улучшают заполняемость формы и способствует выравниванию температур между массивной и тонкостенными частями отливки. Металл в улучшенном варианте подводится через два симметричных питателя в тонкие стенки, для массивных частей отливки усиливается охлаждение. Такая система формирует сплошной турбулентный поток и правильную последовательность заполнения (рис. 6 б) полости формы.

### **CAM – изготовление оснастки на станках с ЧПУ**

Разработка управляющих программ для станка с ЧПУ производилась в системе NX и проиллюстрирована в данной статье на примере изготовления электрода (рис. 7). Модуль NX CAM позволяет в интерактивном режиме программировать и обрабатывать пост-процессором траектории инструмента для операций фрезерования, сверления, а также токарной и электроэрозионной обработки. Предварительно выбирается из дерева проекта деталь, создается геометрия заготовки, задается по заготовке система координат. После задания геометрических характеристик фрезерования выбирается фреза, задаются геометрические характеристики инструмента и его держатель. Наличие держателя позволяет системе при генерации траектории обработки произвести проверку на соударения. Система NX располагает большим набором методов и стратегий обработки, намного превосходящим аналоги в других программных продуктах. Разнообразие подходов, не ограничивающее творческий поиск узким коридором стандартных приемов, позволяет создать наиболее оптимальную программу обработки изделия. Программисту также доступны такие прогрессивные функции, как создание собственной траектории, изменение уже созданной



траектории, внесение новых или удаление ненужных участков траекторий. На заключительном этапе настройки задаются параметры обработки, выбирается стратегия обработки, указываются глубина резания, количество и шаг уровней резания. Сгенерированная траектория обработки электрода представлена на рис. 8.

### **PDM – подготовка конструкторско-технологической документации**

Важным этапом проектирования и разработки литейных технологий является оформление конструкторско-технологической документации. Нетворческая, кропотливая и трудоемкая работа по созданию, архивации и упорядочению большого количества производственных документов сама по себе способна внести множество ошибок и больше всего сейчас нуждается в автоматизации с привлечением компьютерных принципов управления техническим документооборотом PDM. Система NX содержит специализированный модуль «Черчение», предназначенный для автоматической генерации чертежей по сечениям геометрических моделей, созданных в модуле «Моделирование». Автоматически сгенерированные чертежи полностью ассоциативны исходной геометрической модели, но существуют дополнительные трудности NX, связанные с отсутствием шаблонов для оформления чертежей по российским стандартам. В данной работе для оформления чертежей были использованы встроенные возможности системы Компас, куда предварительно экспортирована из NX геометрия сборки пресс-формы в формате IGES. Транслятор NX при передаче данных записывает как файл сборки, так и все компоненты сборки в отдельные файлы. По полученной из NX объемной модели сборки в Компасе изготовлена техническая документация на пресс-форму (рис. 9). Уже после того, как была выполнена данная работа, появилось сообщение о внедрении в последней версии NX<sup>TM</sup> 7.0 новой функции, позволяющей автоматически настроить вид аннотаций и чертежных видов по стандарту ЕСКД.

### **Заключение**

В статье представлены результаты дипломной работы, ориентированной на инструментальную базу Полевского металлофурнитурного завода и выполненной с использованием вычислительных ресурсов Техноцентра компьютерного инжиниринга Уральского федерального университета. Работа демонстрирует высокий кадровый и технологический потенциал Уральского региона в области точного машиностроения.

Программное обеспечение ускоряет и удешевляет разработку технологий в литейном производстве. Вместе с тем, применение современных компьютерных программ не заменяет производственный опыт. Более того, только ежедневное накопление практических навыков позволяет инженеру грамотно проектировать пресс-формы, интуитивно выбирать эффективную конструкцию литниково-вентиляционных систем, продуктивно анализировать расчетные поля скоростей и температур при компьютерном моделировании литейных процессов.

Следует особо отметить обучающую роль компьютерных методов проектирования, предоставляющих возможность в сжатые сроки просмотреть несколько вариантов ошибочных конструкций и понять причины появления брака. Виртуальное наблюдение за развитием процессов и четкое хронометрирование образования дефектов дает возможность понять, когда и в какой области дефекты могут возникнуть, что открывает простор для быстрого реагирования и обоснованного внесения изменений в конструкцию. Программное обеспечение CAD/CAE/CAM – не более чем инструмент, но такой инструмент, который позволяет в относительно короткие сроки повысить квалификацию начинающего технолога и эффективность проектирования технологий. Этот фактор становится немаловажным, если учесть, что в настоящее время практически все российские заводы испыты-





вают острую потребность в квалифицированных технологах и конструкторах литейной оснастки.

### Список литературы

1. Галдин Н. М. Цветное литье: Справочник / Н. М. Галдин, Д. Ф. Чернега, Д. Ф. Иванчук и др. / Под общ. ред. Н. М. Галдина. – М.: Машиностроение, 1989. – 528 с.
2. Беккер М. Л. Литье под давлением / М. Л. Беккер, М. Л. Заславский, Ю. Ф. Игнатенко и др. М.: Машиностроение, 1990. – 400 с.
3. Lynch R. F. Zinc: Alloying, Thermomechanical Processing, Properties, and Applications. Encyclopedia of Materials: Science and Technology, 2008, P. 9869-9883. © Elsevier B.V.
4. Международный обзор рынка цветных металлов. Цветные металлы, 2009, №10. С.4-10.
5. Jareno E.D., Castro M.J., Maldonado S.I. and etc. The effects of Cu and cooling rate on the fraction and distribution of epsilon phase in Zn–4Al–(3–5.6)Cu alloys. Journal of Alloys and Compounds, 2010, V. 490, Issues 1-2, P. 524-530.
6. Gobien J.M., Scattergood R.O., Goodwin F.E. and etc. Mechanical behavior of bulk ultra-fine-grained Zn–Al die-casting alloys. Materials Science and Engineering: A, 2009, V. 518, Issues 1-2, P. 84-88.
7. Чикунов А.В. Изготовление опорной рамы рулевой колонки из цинкового сплава на машине литья под давлением – вызов для конструкторов литейной оснастки. Литейщик России, 2009, №10. С.12-14.
8. Городчиков В.Н., Демьяненко Ю.В. Автоматизированные системы сквозного проектирования в литейном производстве НКМЗ. Литейное производство, 2010, №2. С.17-18.
9. Мартыненко С.В., Огородникова О. М., Грузман В.М. Использование компьютерных методов для повышения качества крупногабаритных тонкостенных стальных отливок. Литейное производство, 2009, № 11. С. 21-26.
10. Турищев В.В., Леднев А.С., Морозов В.А. Технология получения крупногабаритных деталей литьем по выплавляемым моделям. Литейное производство, 2010, №5. С.7-8.
11. Огородникова О. М., Мартыненко С.В., Грузман В.М. Прогнозирование кристаллизационных трещин в стальных отливках. Литейное производство, 2008, №10. С.29-34.
12. Абрамов А. А., Тихомиров М. Д. Технологии получения качественных отливок из высокопрочных литейных алюминиевых сплавов. Литейное производство, 2007, №5. С. 29-34.
13. Монастырский А.В. О современных методах разработки и оптимизации технологических процессов в литейном производстве. Литейное производство, 2010, №5. С.19-22.
14. Огородникова О. М., Маталасов С.Ю. Автоматическая генерация конечно-элементной сетки в литейном моделировщике WinCast. САПР и графика, 2002, № 7. С.30-33.
15. Смыков А.Ф., Моисеев В.С., Бережной Д.В. Системный подход к оптимизационному проектированию технологических процессов литья. Литейщик России, 2009, №6. С.40-43.
16. Голод В.М. Компьютерный анализ литейной технологии, проблемы его информационного обеспечения и адаптации к условиям производства. Вестник Удмуртского университета, серия «Физика. Химия», 2008, вып.1. С.67-87.



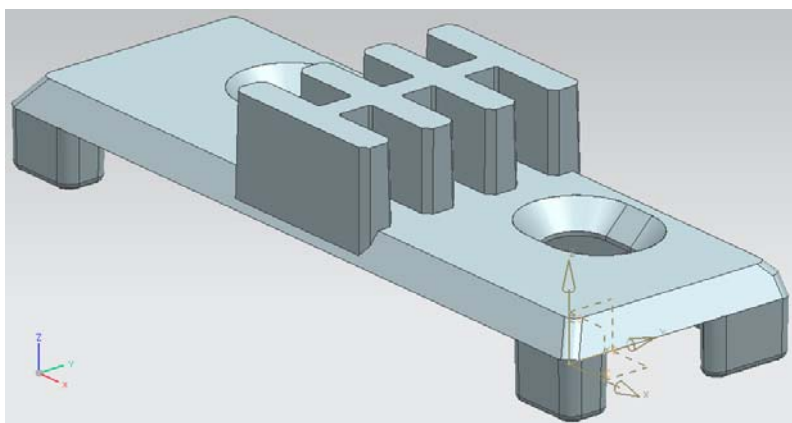


Рис. 1. Объемная модель детали

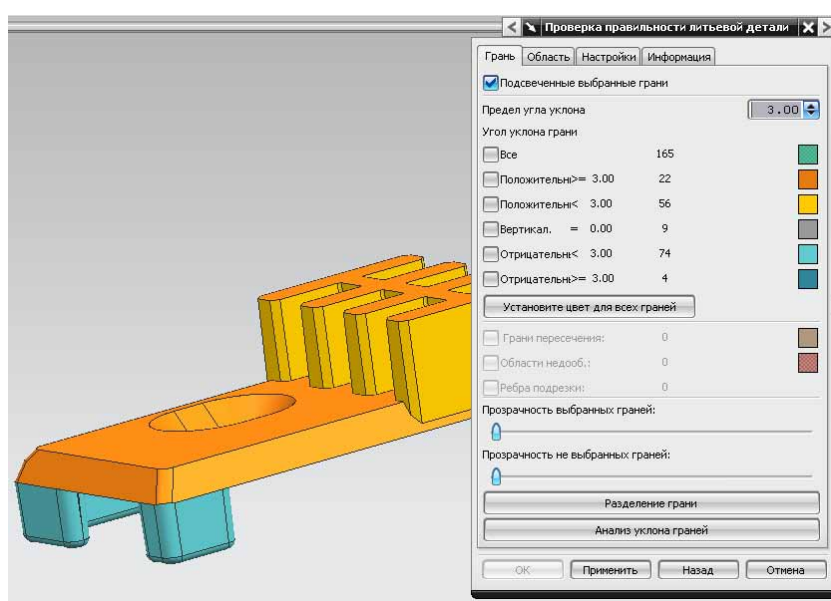


Рис. 2. Объемная модель отливки и проверка уклонов

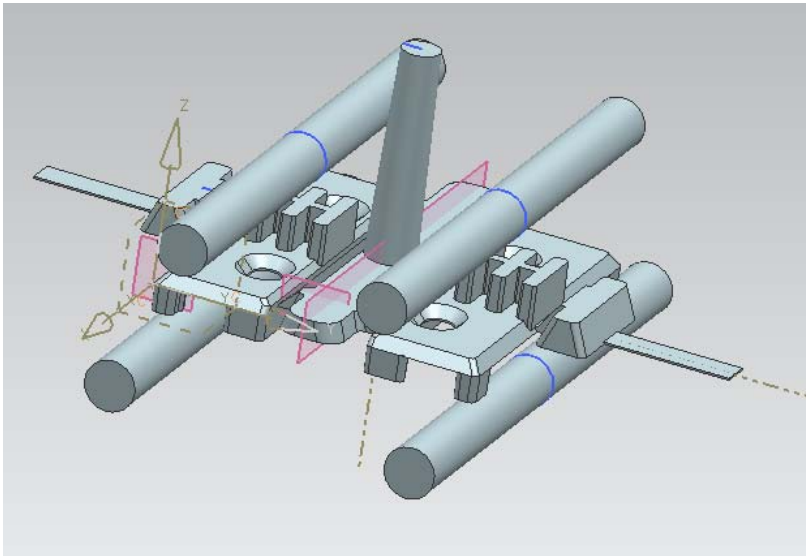


Рис. 3. Куст отливок с литниково-питающей системой и каналами охлаждения

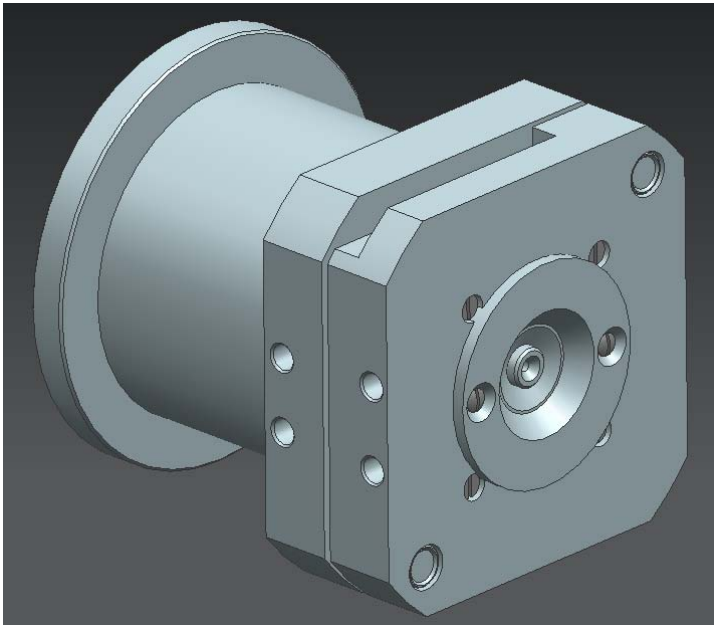


Рис. 4. Пресс-форма в сборе

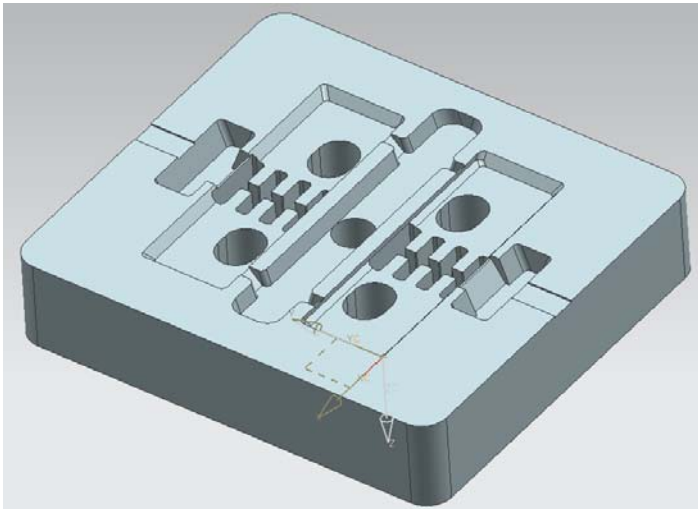
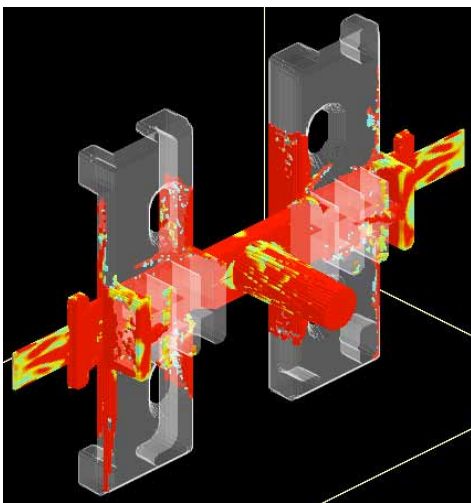
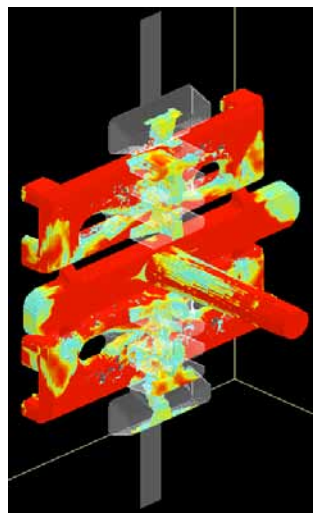


Рис. 5. Вкладыш плиты неподвижной



а



б

Рис. 6. Неправильное (а) и правильное (б) заполнение формы металлом

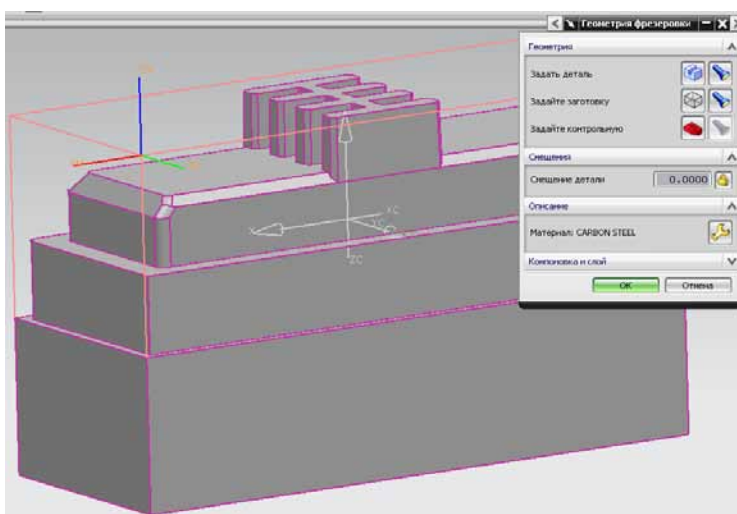


Рис. 7. Задание геометрии фрезерования





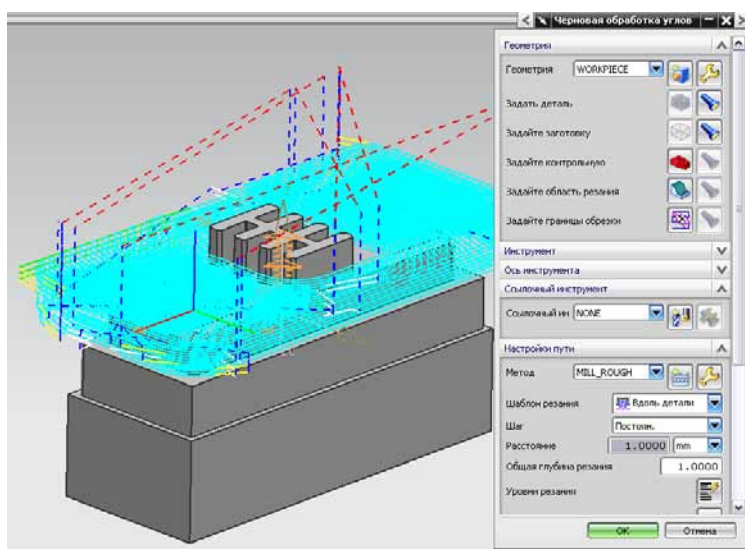


Рис. 8. Траектория обработки

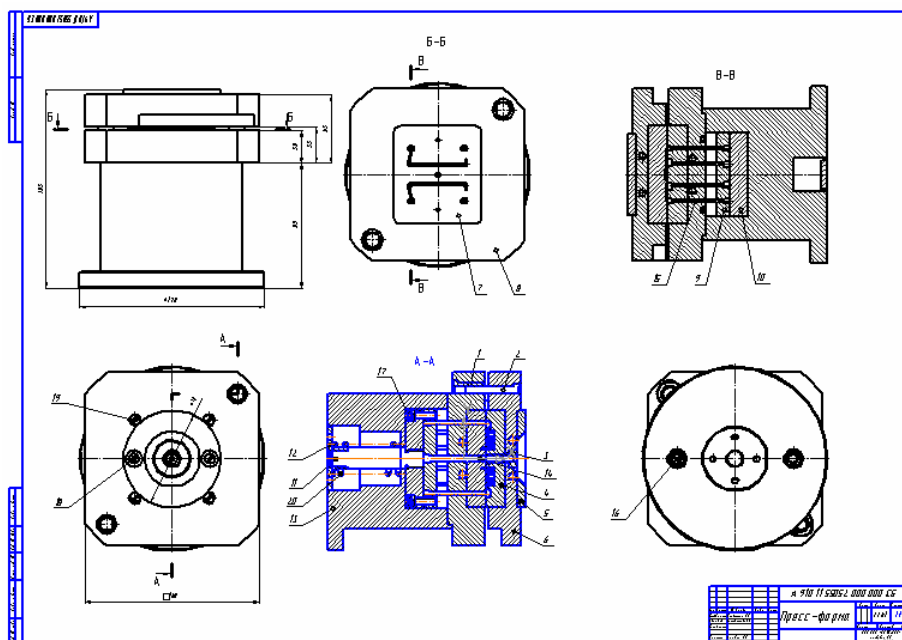


Рис. 9. Чертеж пресс-формы в сборке, сгенерированный по 3D-модели



## **Разработка технологий литья под давлением цинковых сплавов в программной среде CAD/CAE/CAM**

О.М. Огородникова, Н.В. Кокушкин

### **Аннотация**

В работе рассмотрены современные подходы к разработке литейных технологий с использованием программного обеспечения CAD/CAE/CAM; обсуждаются проблемы объемного конструирования пресс-форм, компьютерного моделирования технологий литья под давлением и обеспечения высокого качества отливок на стадии разработки технологических процессов. В статье показана последовательность сквозного проектирования и подготовки производства литых цинковых деталей в программной среде CAD/CAE/CAM.

### **Ключевые слова**

CAD/CAE/CAM, литье под давлением, пресс-форма, цинковые сплавы, компьютерное моделирование, литейные дефекты.

## **CAD/CAE/CAM preproduction for zinc alloy die casting**

O. Ogorodnikova, N. Kokushkin

### **Abstract**

An advanced approach for computer preproduction in foundry with use of CAD/CAE/CAM software is viewed; the problems of die 3D-designing, die casting simulation and ensuring high quality of castings at the stage of technological processes development are discussed. In the article the order of transparent projection and CAD/CAE/CAM preproduction is performed for the die zinc alloy parts.

### **Key words**

CAD/CAE/CAM, die casting process, die, zinc alloys, computer simulation, cast defects.

### **Сведения об авторах**

Огородникова Ольга Михайловна, канд.физ.-матем.наук, доцент кафедры «Электронное машиностроение», Уральский федеральный университет (УрФУ), руководитель Техноцентра компьютерного инжиниринга.

*Адрес:* 620002 Екатеринбург, Мира 19, УрФУ, почтовый ящик 6А, аудитория ГУК100, телефон/факс +7 343 3759403, e-mail [O.M.Ogorodnikova@bk.ru](mailto:O.M.Ogorodnikova@bk.ru) web <http://cae.ustu.ru>

Кокушкин Николай Вадимович, студент УрФУ.

*Адрес:* 620002 Екатеринбург, Мира 19, УрФУ, почтовый ящик 6А, аудитория ГУК100, телефон/факс +7 343 3759403

Авторы обсудили содержание данной статьи и готовы подписать рукопись на бумажном носителе.

